

сульфидов цинка и легирующих элементов в условиях сверхвысокого вакуума. Для сравнения использовались пленки материалов, синтезированные вместе с наноструктурами.

Химический состав и характеры химических связей, исследованные методом РФЭС, показали наличие Cu, Mn и Zn, связанных с серой. Послойный химический анализ до глубин около 30 нм показал равномерность распределения легирующих примесей в объеме нанокompозита. Рентгенофазовый анализ образцов также показал наличие соединений меди, марганца и цинка с серой ( $\text{Cu}_x\text{S}$ ,  $\text{MnS}$  и  $\text{ZnS}$ , соответственно). Методом EXAFS и XANES-спектроскопии показано, что в образцах сосуществуют фазы  $\text{Cu}_x\text{S}$  различного состава, которые после отжига переходят в фазу  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Отдельных частиц меди и марганца не обнаружено.

Исследованы спектры поглощения образцов, полученных осаждением на матрицы ПОА с удаленным алюминием. Выявлена зависимость значений ширины запрещенной зоны от диаметров пор матрицы – с увеличением диаметра значение  $E_g$  уменьшается. Все образцы люминесцируют в видимой области спектра.

Работа выполнялась в рамках проекта РНФ (грант 15-19-10002).

Список публикаций:

[1] X. Fang, T. Zhai, et al., *Progress in Materials Science* 56, 175 (2011).

## Особенности упруго-напряженного состояния дефектов дисклинационного типа на стадии локализации деформации в области упругих дисторсий

Суханов Иван Иванович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Тюменцев Александр Николаевич, д.ф.-м.н.

[suhanii@mail.ru](mailto:suhanii@mail.ru)

В процессе электронно – микроскопического исследования особенностей пластической деформации в субмикроструктурном никеле обнаружено явление локализации деформации в области упругих дисторсий с образованием полос переориентации с высокой (сотни град/мкм) упругой кривизной кристаллической решетки и нанодиполи частичных дисклинаций на фронте распространения этих полос [1, 2].

Теоретический анализ полей напряжений в окрестности нанодиполя клиновых дисклинаций с экспериментально обнаруженными значениями  $l \approx 6$  нм (плечо нанодиполя) и  $\varphi \approx 1^\circ$  (угол переориентации) показал, что величины диагональных компонент тензора напряжений и градиентов этих напряжений достигают очень высоких значений при величинах  $P = (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})/3 \approx \pm E/50$  и  $\partial P/\partial x \sim (10-20) E$  мкм<sup>-1</sup> ( $E$  – модуль Юнга). Как видно из рисунка 1, максимальные значения наблюдаются  $P$  в плоскости залегания нанодиполя (в сечении  $y = 0$ ). По мере удаления от этой плоскости на расстояния 1 и 3 нм величина давления уменьшается до  $P \approx E/100$  и  $E/300$ , соответственно.

Важной особенностью поля напряжений нанодиполя является также то, что максимальные значения сдвиговых компонент тензора напряжений  $\tau_{xy}$ , под действием которых осуществляются сдвиги, локализованы перед фронтом движущегося диполя. На наш взгляд, это обстоятельство является значительным силовым фактором образования квадрупольных конфигураций на фронте распространения нанополос переориентации (рис. 1 в). Это приводит к более сложным мультипольным конфигурациям – ансамблям взаимодействующих между собой квадруполь.

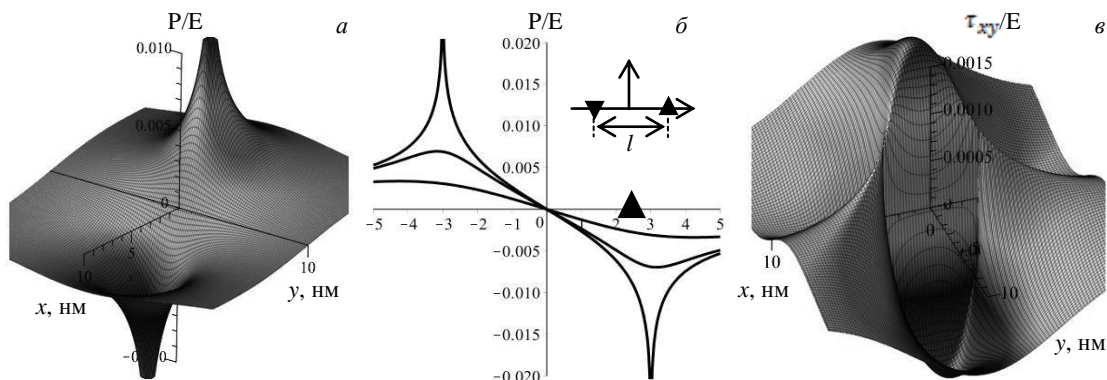


рис. 3. Пространственное распределение давления  $P = (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})/3$  нанодиполя частичных клиновых дисклинаций с размером плеча  $l = 6$  нм и значением вектора Франка  $\omega \approx 1^\circ$  (а) его проекции на разных расстояниях от плоскости залегания диполя  $y = 0$  нм – кривая 1; на расстоянии  $y = 1$  нм – кривая 2; на расстоянии  $y = 3$  нм – кривая 3 (б) и компоненты  $\tau_{xy}$  тензора напряжений нанодиполя с параметрами  $l = 6$  нм,  $\omega \approx 1^\circ$  (в).

Исходя из экспериментальных данных, для анализа полей напряжений в качестве исследуемой системы был выбран мультиполь с расстоянием между квадруполом и диполем  $m_1 = 6$  нм и длиной квадруполя  $m_2 = 12$  нм (рис. 2 а). Как следует из рисунка 2, мультипольная конфигурация является сложной экранированной системой с преимущественной локализацией полей напряжений в области залегания дисклинаций с максимальными значениями  $P \approx E/50$ , близкими к таковым для нанодиполя.

Для оценки устойчивости различных дисклинационных конфигураций проведен сравнительный анализ распределения удельной упругой энергии дисклинационных конфигураций, формирующихся в процессе продвижения нанодиполя частичных дисклинаций. Результаты такого анализа представлены на рисунке 2 б. Из этих расчетов следует, что имеются значительные различия в энергиях как квадрупольных, так и мультипольных конфигураций по сравнению с нанодиполем частичных дисклинаций в широком интервале размеров (длин) квадруполов. При этом энергия мультипольных конфигураций оказывается в несколько раз меньше энергии нанодиполя (рис. 2 б).

Исходя из проведенного анализа особенностей упруго – напряженного состояния и энергий рассмотренных дисклинационных конфигураций, предложен механизм локализации деформации в области упругих дисторсий, представляющий собой квазипериодическую последовательность формирования и релаксации дисклинационных ансамблей различного типа с периодическим изменением энергии дефекта.

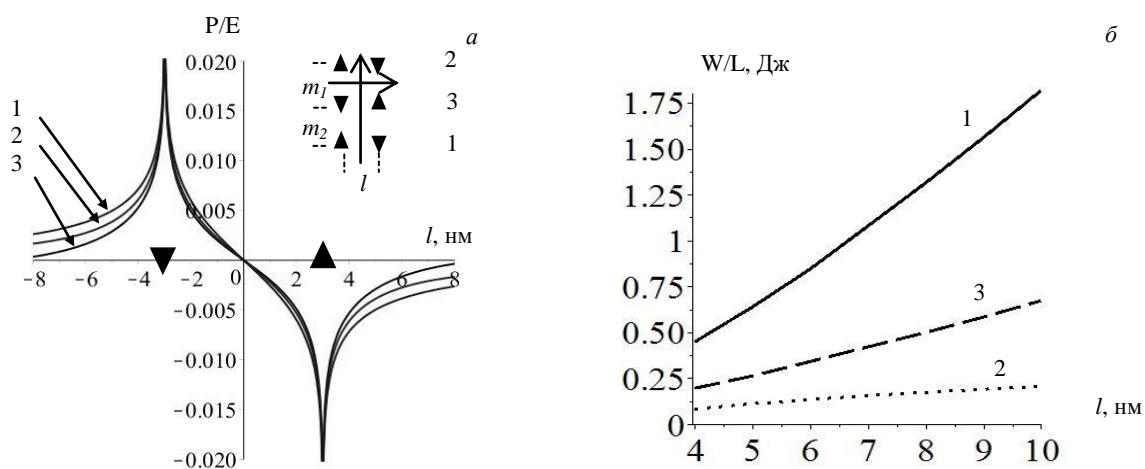


рис. 2. Пространственное распределение давления  $P = (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})/3$  мультиполя частичных клиновых дисклинаций с параметрами  $l = m_1 = 6$  нм,  $m_2 = 12$  нм,  $\omega \approx 1^\circ$  в различных плоскостях залегания диполей (а); энергия нанодиполя – кривая 1, квадруполя с фиксированным плечом  $m = 6$  нм – кривая 2 и мультиполя с фиксированными плечами  $m_1 = 6$  нм,  $m_2 = 12$  нм – кривая 3 (б).

Список публикаций:

- [1] Тюменцев А.Н. Нанодиполи частичных дисклинаций как носители квазивязкой моды деформации и формирования нанокристаллических структур при интенсивной пластической деформации металлов и сплавов / А.Н. Тюменцев, И.А. Дитенберг // Физическая мезомеханика. – 2011. – Т. 14, № 3. – С. 55–68.
- [2] Тюменцев А.Н. Структурные состояния с высокой кривизной кристаллической решетки в субмикрорекристаллических и нанокристаллических металлических материалах / А.Н. Тюменцев, И.А. Дитенберг // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – Т. 54, № 9. – С. 26–36.

## Корреляция оптических свойств и радиационно-индуцированного структурного беспорядка в ионно-имплантированном кварцевом стекле $\text{SiO}_2 / \text{Re}$

Тарасюк Владислав Олегович

Бирюков Дмитрий Юрьевич, Зацепин Анатолий Федорович

Уральский федеральный университет

Зацепин Анатолий Федорович

[newparin@yandex.ru](mailto:newparin@yandex.ru)

В растущих отраслях оптоэлектроники и фотоники находят широкое применение композиционные функциональные материалы на основе диоксида кремния (например, структуры с квантовыми точками), которые могут быть созданы с использованием технологии ионной имплантации [1]. Ионно-лучевое воздействие сопровождается образованием наноразмерных кластеров и точечных дефектов, которые